

1

Grundlagen

1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

Produktion (lat.: producere = hervor führen) ist der Prozess der Transformation von Ausgangsstoffen (Rohstoffen) in fertige bzw. weiter zu verarbeitende Produkte bzw. (Wirtschafts-)Güter. Dies erfolgt unter Einsatz von Energie sowie mithilfe spezifischer Produktionsmittel – sogenannter **Produktionstechnik** – nach festgelegtem Schema, d. h. auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse in Verfahren und Prozessen, die vom Menschen technologisch beherrscht werden. Die für die Produktion von Gütern mit geometrisch bestimmter Form aus festen Stoffen erforderlichen Bearbeitungsvorgänge werden als **Fertigungsverfahren** bezeichnet. Fertigungsverfahren können durch die Arbeitskraft des Menschen manuell vollzogen werden oder mechanisiert bzw. automatisiert erfolgen. Der Fortschritt in der

industriellen Produktionstechnik wird maßgeblich durch Mechanisierung bzw. Automatisierung des **Fertigungsprozesses** sowie der Optimierung seiner Elemente (Arbeitsgegenstand – Arbeitsmittel – Arbeitskraft) zueinander und zur Fertigungsorganisation bestimmt.

Die Vielzahl der Fertigungsverfahren zwingt zur Einordnung in ein überschaubares System, in dem sowohl die bislang bekannten, aber auch die in der Zukunft neu entwickelten Verfahren Platz finden. Die Einteilung der Fertigungsverfahren erfolgt entsprechend DIN 8580 in sechs Hauptgruppen: Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und Stoffeigenschaft ändern (Bild 1.1).

Die Fertigungsverfahren lassen sich u. a. nach der Art ihrer Wirkungsweise auf den zu bearbeitenden Werkstoff unterscheiden. Dabei bestehen wechselseitige Anforderungen zwischen dem Fertigungsverfahren und dem Werkstoff. So sind einerseits nicht alle Verfahren auf jeden Werkstoff anwendbar und andererseits lässt sich nicht jeder Werkstoff mit jedem

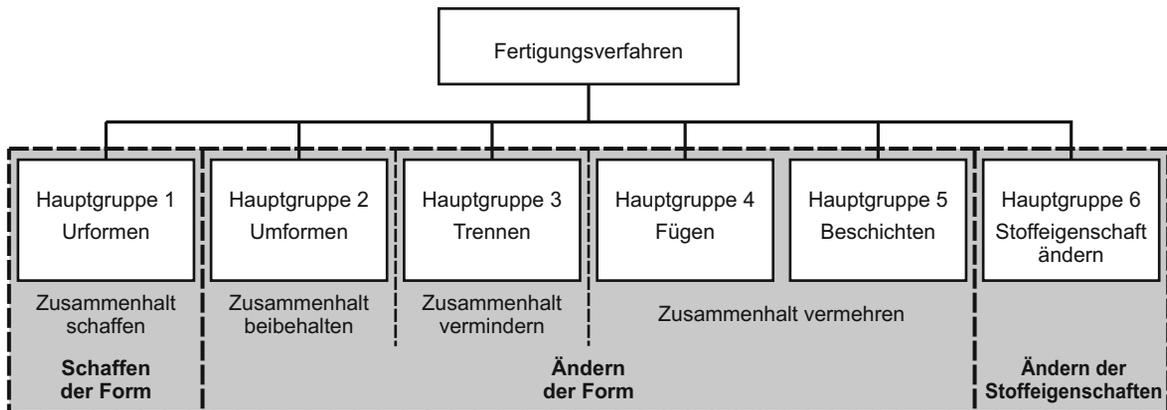


Bild 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach Art des Zusammenhalts und deren Wirkungsweise nach DIN 8580

Tabelle 1.1 Teiloperationen des Montageprozesses nach VDI 2860

Montage				
Fügen (DIN 8593)	Handhaben (VDI 2860)	Kontrollieren (VDI 2860)	Justieren durch	Sonderoperation
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zusammensetzen ▪ Füllen ▪ Anpressen und Einpressen ▪ Fügen durch Urformen ▪ Fügen durch Umformen ▪ Fügen durch Schweißen ▪ Fügen durch Löten ▪ Fügen durch Kleben ▪ textiles Fügen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Speichern ▪ Mengen verändern ▪ Bewegen ▪ Sichern ▪ Kontrollieren 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Messen ▪ Prüfen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einformen ▪ Umformen ▪ Trennen ▪ Fügen von Ausgleichsteilen ▪ Einstellen ▪ Nachbehandeln 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Markieren ▪ Erwärmen ▪ Kühlen ▪ Reinigen ▪ Entgraten ▪ Bedrucken ▪ Abdecken ▪ Abziehen ▪ Auspacken ▪ Ölen ▪ Einsprühen ▪ Abdichten

Fertigungsverfahren sinnvoll bearbeiten. Diese Einflüsse und Wechselbeziehungen müssen sowohl bei der Produkt- und Fertigungsprozessgestaltung als auch beim Qualitätsmanagement berücksichtigt werden. Für das Fügen und besonders beim stoffschlüssigen Fügen, wie z. B. Schweißen, Löten, Kleben u. a., besteht in besonderem Maße diese Abhängigkeit, da hier neben Bauteilen aus artgleichen Werkstoffen auch Werkstoffkombinationen gefügt werden. Dies zeigt auch, dass das Fügen eine besondere, grundlegende Bedeutung besitzt. Einerseits existieren kaum monolithische Produkte und andererseits ermöglicht das Fügen die Herstellung komplexer Produkte aus einzelnen, fertigungstechnisch einfacher herzustellenden Bauteilen und erreicht damit außerdem eine Flexibilität in der Prozesskette.

Neben der Einteilung des Fügens in die Gruppe der Fertigungsverfahren ist Fügen auch eine primäre Operation der **Montage**, zu der auch sekundäre Vorgänge wie Handhaben, Kontrollieren, Justieren sowie weitere Sonderoperationen, wie z. B. Reinigen oder Markieren, gehören (Tabelle 1.1). Das Fügen bewirkt bei der Montage, d. h. beim gezielten Zusammenbau, den aktiven Fertigungsfortschritt am

Werkstück bzw. Arbeitsgegenstand hin zum Produkt, d. h., der Zusammenhalt zwischen den Einzelteilen und Baugruppen wird örtlich geschaffen und insgesamt vermehrt.

Unterschiedliche Werkstoffe, wie Metall, Holz, Kunststoff, Textil oder Papier, erfordern jeweils spezifische Fügeverfahren. Gefügt werden können zwei Bauteile **unmittelbar**, d. h. ohne zusätzliche Stoffe, aber auch **mittelbar** mithilfe eines **Verbindungselements**, wie z. B. Schraube, Niet, Nagel oder Spreizring, bzw. eines **Zusatzwerkstoffes** wie Vergussmittel, Schweißelektrode oder Kitt. Dementsprechend gibt es eine große Anzahl verschiedenartiger Fügeverfahren.

Die Unterteilung der Fertigungsverfahrenshauptgruppe „Fügen“ in Gruppen erfolgt in DIN 8593-0 nach dem Ordnungsgesichtspunkt „Art des Zusammenhalts unter Berücksichtigung der Art der Erzeugung“. Die Arten des Zusammenhalts lassen sich dabei unterscheiden in

- Schwerkraft (Reiben), Formschluss oder Federkraft beim Zusammensetzen,
- Einschluss in einen das Füllgut umschließenden Körper beim Füllen,

- Kraftschluss beim An- und Einpressen,
- Formschluss, der durch Urformen bzw. Umformen hervorgerufen wird,
- Stoffverbindung beim Schweißen und Löten,
- Adhäsion beim Kleben sowie
- Formschluss und/oder Kraftschluss bei textilen Faserstoffen.

Daraus resultierend ergibt sich die Einteilung der Hauptgruppe „Fügen“ in neun Verfahrensgruppen (Bild 1.2).

Für das **Fügen** wurde folgende Definition entwickelt:

Fügen ist ein auf Dauer angelegtes Verbinden oder sonstiges Zusammenbringen von zwei oder mehreren Werkstücken (Fügeteilen) geometrisch bestimmter fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff, dabei wird der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt.

Der Bereich der Fügeteile, in dem die Verbindung gezielt hergestellt wird, ist die **Fügestelle**. Diese variiert je nach Fügeverfahren in ihren Abmessungen und spezifischen Eigenschaften. Als **Fügevorgang** wird die zeitliche Folge der technologischen Operationen beim Fügen bezeichnet, wie z. B. „In-Lage-bringen“, „In-Lage-halten“ etc. Der **Fügeprozess** ist die Wechselbeziehung der Elemente des Prozesses sowie deren Wirkung aufeinander in ihrer zeitlichen Folge. Elemente des Fügeprozesses sind u. a. Arbeitsgegenstand (Fügeteile), Arbeitsmittel (z. B. Schweißbrenner, Zusatzwerkstoff etc.), Arbeitskraft (des Menschen) und Arbeitsorganisation (z. B. Gruppenarbeit).

1.2 Fügen durch Schweißen

Beim Fügen durch **Schweißen** wird der Zusammenhalt durch Stoffverbinden unter Anwendung von Wärme und/oder Kraft mit oder ohne Schweißzusatz erzielt. Dies wird teilweise durch den Einsatz von Schweißhilfsstoffen wie Schutzgasen, Schweißpulver oder Pasten erst ermöglicht oder kann durch diese erweitert werden. Kennzeichnend für eine

Schweißverbindung ist, dass alle Fügeteile sowie eventuell verwendete Zusatzwerkstoffe aus artgleichen bzw. artähnlichen Werkstoffen bestehen und daher auch näherungsweise gleiche Schmelztemperaturen aufweisen.

Die Fügestelle wird beim Schweißen als **Schweißzone** bezeichnet und umfasst das **Schweißgut** (tatsächlich aufgeschmolzener Werkstoff) und die **Wärmeeinflusszone (WEZ)**. Die WEZ ist der durch das Schweißen verfahrensbedingt thermisch beeinflusste Bereich direkt neben dem Schweißgut, in dem es infolge der thermischen Beeinflussung zu werkstofflichen Veränderungen (z. B. Kornveränderungen, Diffusionsvorgängen) kommen kann.

Die zum Schweißen erforderliche Energie wird stets von außen in die Fügeteile eingebracht, wobei dies verfahrensabhängig mehr oder weniger lokal an der eigentlichen Fügestelle erfolgt. Dabei können verschiedene physikalische Energieformen Anwendung finden. Die für das Schweißen häufigste Form ist **thermische Energie**, die als **Wärme** zugeführt wird. Das ermöglicht in vielen Fällen den Fügevorgang bzw. fördert in der Regel den Fügeprozess. Typische Formen der Wärmeerzeugung sind chemische Reaktionen, die Wirkung des elektrischen Stroms, Reibung, Wirkung von Strahlen u. a. (Bild 1.3).

Beim Schweißen unter ausschließlicher Anwendung von thermischer Energie wird der Werkstoff an der Fügestelle lokal bis zum Schmelzpunkt der Fügeteile erwärmt, dies führt zum Stoffverbinden. Dieser Prozess wird aus diesem Grund als **Schmelzschweißen** bezeichnet.

Neben der Einwirkung von Wärme kann der Schweißvorgang auch unter der Wirkung von Kraft oder Druck auf die Fügestelle bzw. einer Relativbewegung der Fügeteile erfolgen. Häufig ist eine zusätzliche Wärmeerbringung erforderlich. Derartige Prozesse werden als **Pressschweißen** bezeichnet.

1 Urformen DIN	2 Umformen DIN 8582	3 Trennen	4 Fügen DIN 8593-0	5 Beschichten	6 Stoffeigen- schaft ändern
1.1 Urformen aus dem flüssigen Zustand	2.1 Druckumformen DIN 8583-1	3.1 Zerteilen DIN 8588	4.1 Zusammensetzen DIN 8593-1	5.1 Beschichten aus dem flüssigen Zustand	6.1 Verfestigen durch Umformen
1.2 Urformen aus dem plastischen Zustand	2.2 Zugdruckumformen DIN 8584-1	3.2 Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden DIN 8589-0	4.2 Füllen DIN 8593-2	5.2 Beschichten aus dem plastischen Zustand	6.2 Wärmebehandeln DIN EN ISO 4885
1.3 Urformen aus dem breiigen Zustand	2.3 Zugumformen DIN 8585-1	3.3 Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden DIN 8589-0	4.3 An- und Einpressen DIN 8593-3	5.3 Beschichten aus dem breiigen Zustand	6.3 Thermo- mechanisches Behandeln
1.4 Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	2.4 Biegeumformen DIN 8586	3.4 Abtragen DIN 8590	4.4 Fügen durch Urformen DIN 8593-4	5.4 Beschichten aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	6.4 Sintern Brennen
1.5 Urformen aus dem span- oder faserförmigen Zustand	2.5 Schubumformen DIN 8587	3.5 Zerlegen DIN 8591	4.5 Fügen durch Umformen DIN 8593-5	Die Gruppe 5.5 entfällt, da Beschichten aus dem spanförmigen Zustand nicht vorkommt.	6.5 Magnetisieren
Da Schweißen und Löten beim Urformen im Gegensatz zum Beschichten nicht zur Anwendung kommen, bleiben die Gruppennummern 1.6 und 1.7 frei.		3.6 Reinigen DIN 8592	4.6 Fügen durch Schweißen DIN 8593-6		5.6 Beschichten durch Schweißen
		4.7 Fügen durch Löten DIN 8593-7 DIN ISO 857-2	5.7 Beschichten durch Löten	6.7 Photo- chemische Verfahren	
1.8 Urformen aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand			4.8 Kleben DIN 8593-8	5.8 Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand (Vakuumbeschichten)	
1.9 Urformen aus dem ionisierten Zustand			4.9 Textiles Fügen	5.9 Beschichten aus dem ionisierten Zustand	

Bild 1.2 Detaillierte Übersicht der Fertigungsverfahren nach DIN 8580

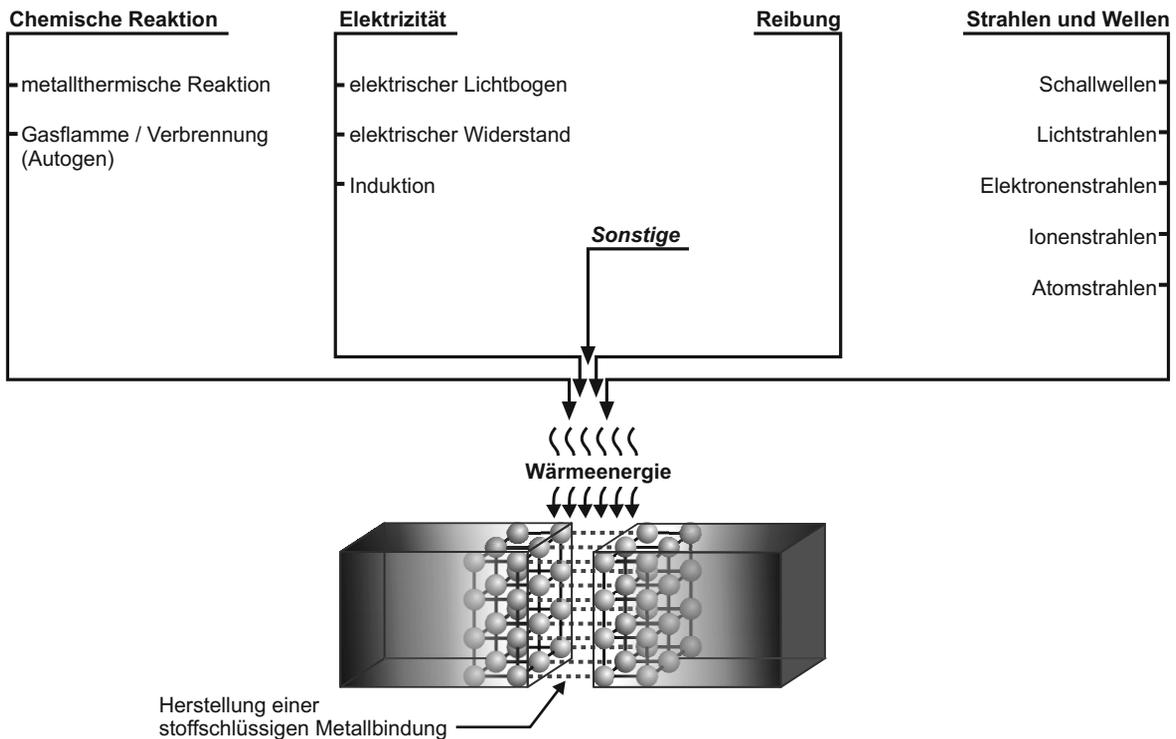


Bild 1.3 Formen der Wärmeerzeugung an der Fugestelle

Eine weitere Unterscheidung der Schweißverfahren nach dem Grad ihrer Mechanisierung und Automatisierung ist ebenso möglich, wie auch nach der Anwendung – d. h. dem Zweck des Schweißens – in Verbindungs- und Auftragschweißverfahren (Bild 1.4). Das Verbindungsschweißen dient der Herstellung von Schweißverbindungen zwischen mindestens zwei Fügeteilen. Auch das **Beschichten** eines Bauteils mit artähnlichem Zusatzwerkstoff, aber beispielsweise höherem Verschleißwiderstand wird als Schweißen (**Auftragschweißen**) bezeichnet. Das Auftragschweißen ist demnach ein stoffschlüssiges Beschichten von Flächen, das je nach der Art der Zusammensetzung des Schweißzusatzes unterschieden wird in Panzern, Plattieren und Puffern.

1.3 Wirkprinzipien beim Schweißen

Die Schweißverbindung ist eine stoffschlüssige Verbindung. Sie beruht auf der Wirkung zwischenatomarer und zwischenmolekularer Kräfte. Sie zählt zu den **unlöslichen Verbindungen**, die nur durch Materialzerstörung getrennt werden können, z. B. durch mechanische oder thermische Trennverfahren.

Im Folgenden werden ausschließlich Metalle betrachtet. Deren Zusammenhalt basiert auf sogenannter Metallbindung, einer Sonderform der chemischen Bindung, wie sie bei Metallen und in deren Legierungen auftritt. Diese ist gekennzeichnet durch frei bewegliche Elektronen (sogenanntes „**Elektronengas**“) innerhalb eines Metallgitters aus Metallionen, was zugleich auch Ursache für Stromleitfähigkeit, Duktilität (Schmiedbarkeit, Verform-

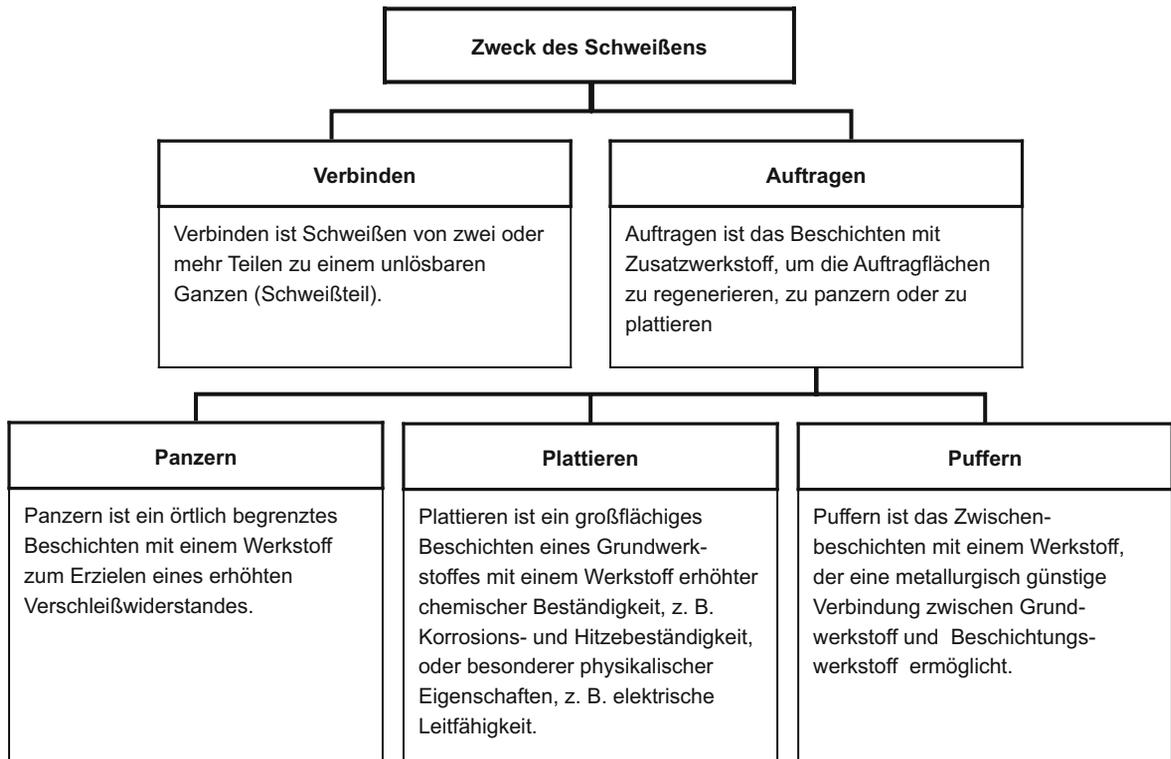


Bild 1.4 Einteilung des Schweißens nach dessen Zweck

barkeit) und den metallischen Glanz dieser Werkstoffe ist. Die eigentliche Bindung innerhalb des Metalls erfolgt durch Anziehungskräfte zwischen Metallionen und freien Elektronen.

Um eine Verbindung zweier fester Metalle herzustellen, ist es notwendig, die Metallgitterstruktur beider Fügepartner sehr stark anzunähern, damit die chemische Bindung der Metallionen an der Oberfläche des Werkstoffes (in der Fügestelle) wirksam wird. Zusätzlich zur Annäherung ist aber auch die Entfernung jeglicher Fremdschichten auf der Oberfläche (z. B. Oxide, Verunreinigungen etc.) der beiden Fügepartner im Bereich der Fügestelle erforderlich. Diese Anforderungen können u. a. durch das Aufschmelzen des Werkstoffes bzw. durch starke Druckeinwirkung oder auch Relativbewegung der Fügepartneroberflächen zueinander erzielt werden.

Schmelz- und Pressschweißen unterscheiden sich in deren physikalischem Ablauf. Das **Schmelzschweißen** ist ein Fügen bei örtlich begrenztem Schmelzfluss ohne Anwendung von Kraft mit oder ohne Schweißzusatz. Das **Pressschweißen** erfolgt unter Anwendung von Kraft ohne oder mit Schweißzusatz. Örtlich begrenztes Erwärmen der Fügepartner an der Fügestelle – auch bis zum Schmelzpunkt – ermöglicht oder erleichtert das Schweißen.

Bild 1.5 zeigt die **Wirkpaarungen** zwischen thermischer und mechanischer Energie, die je nach fertigungstechnischer und gerätetechnischer Umsetzung eine Einteilung der Schweißverfahren nach den **Wirkprinzipien** für das Pressschweißen und für das Schmelzschweißen zulassen.

In Tafel 1.1 werden ausgewählte Schweißverfahren entsprechend dieser Einteilung nach den Wirkprinzipien dargestellt. Diese Einteilung bei der

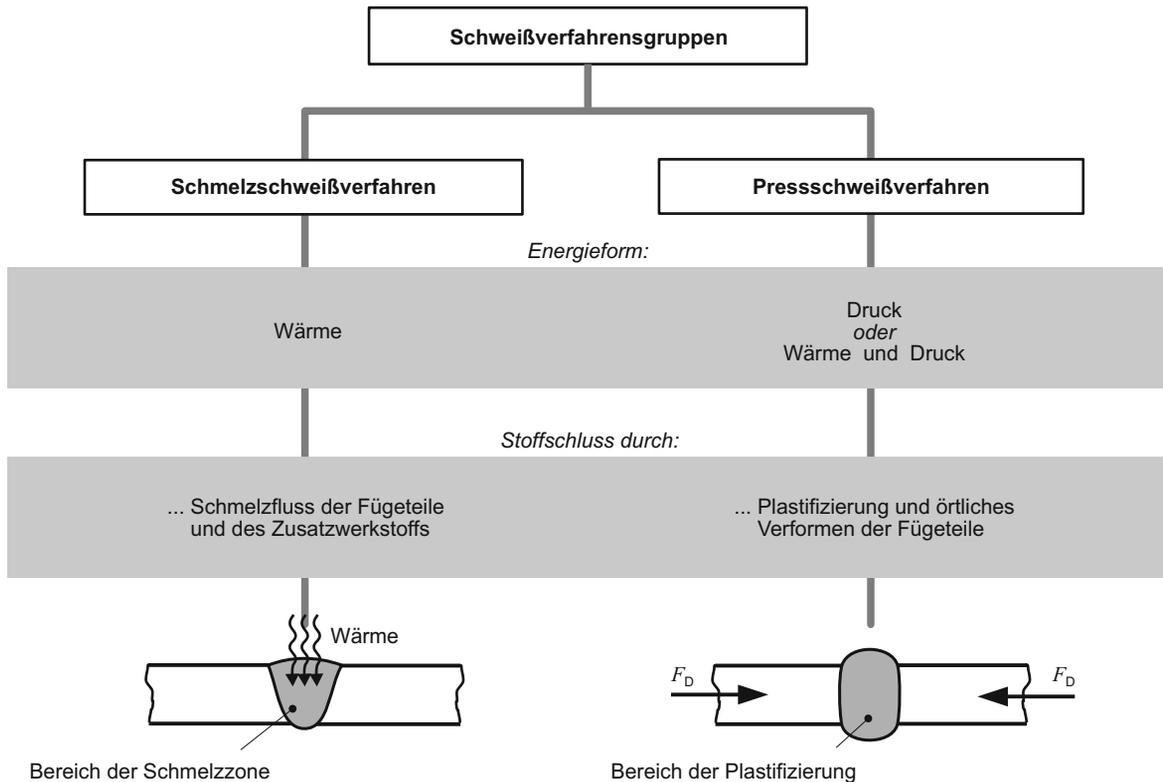


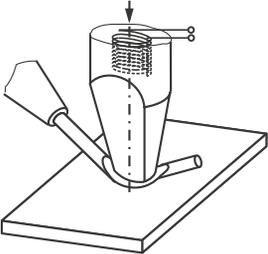
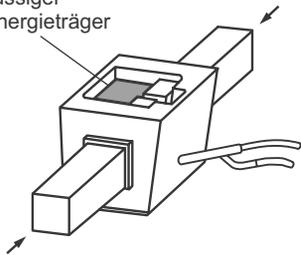
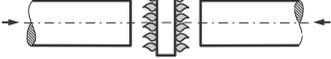
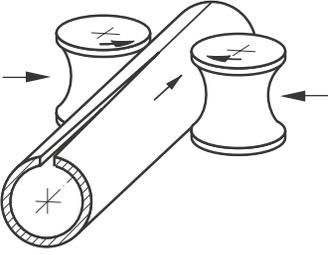
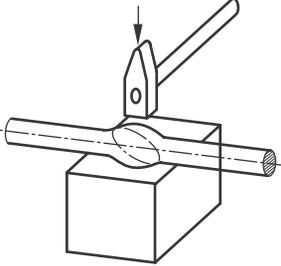
Bild 1.5 Wirkpaarungen beim Schweißen

Herstellung der Schweißverbindung ist ebenfalls Grundlage des Aufbaus dieses Buches in den nachfolgenden Kapiteln.

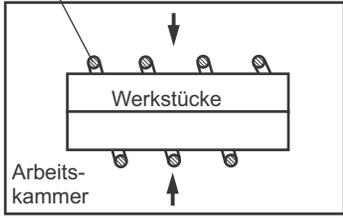
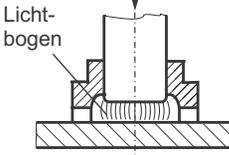
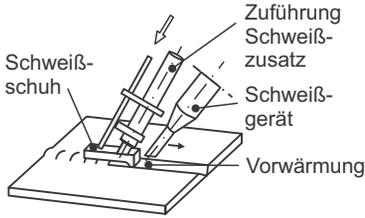
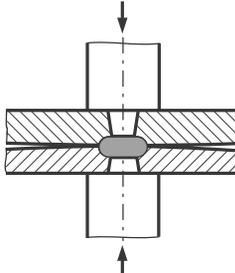
Für die in Tafel 1.1 dargestellten Verfahren wird neben der Verfahrensbezeichnung – sofern vorhanden – auch die jeweilige **Ordnungsnummer** (ONr.) für Schweißverfahren nach DIN EN ISO 4063 angegeben, die auch Anwendung in den weiteren Kapiteln dieses Buches findet. Die Gliederung dieser

höchstens dreistelligen Ordnungsnummer basiert in der ersten Ziffer auf dem physikalischen Grundprinzip, d.h. dem eingesetzten Energieträger zur Durchführung des Schweißens, wird aber gleichfalls für das thermische Schneiden sowie für Lötverfahren angewendet. Die nachfolgenden Ziffern (eine oder zwei) kennzeichnen gegebenenfalls vorhandene Verfahrensuntergruppen und -varianten.

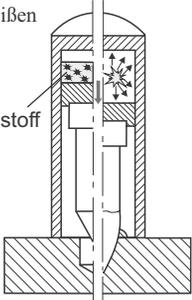
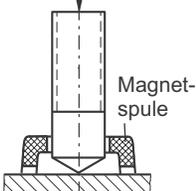
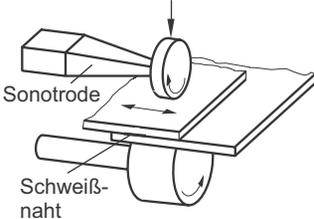
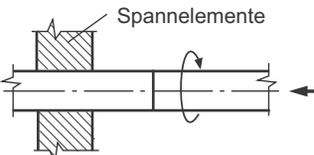
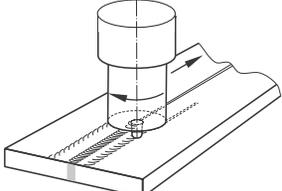
Tafel 1.1 Wirkprinzipien beim Schmelz- und Pressschweißen (in Anlehnung an DIN 8593-6)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]		Beispiel	
6.1 Press- schweißen	6.1.1 ... durch feste Körper	Heizelement- schweißen	Fügen von Werkstücken durch Anpressen mit einem beheizten Schweißwerkzeug		
	6.1.2 ... durch Flüssigkeit	Gießpress- schweißen	Fügen, indem die Fügestelle der Werkstücke durch Umgießen mit einem flüssigen Energieträger erwärmt und ver- presst wird		
	6.1.3 ... durch Gas	Gaspress- schweißen [ONr. 47]		Fügen durch Ver- pressen von Werk- stücken mit durch Flammen erwär- mten Stoßflächen	
		Walz- schweißen		Fügen, indem erwärmte Werk- stücke gemeinsam gewalzt werden	
		Feuer- schweißen	Fügen von Werk- stücken durch Freiformen, Gesenkformen oder Durchdrücken der durch Feuer erwär- mten Stoßflächen		

Tafel 1.1 (Fortsetzung)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]		Beispiel
6.1 Press- schweißen	6.1.3 ... durch Gas	Diffusions- schweißen [ONr. 45]	Fügen von Werk- stücken im Vaku- um, unter Schutz- gas oder in einer Flüssigkeit auf- grund von Diffu- sion an den Stoß- flächen durch Wärme und Kraft	<p>Heizelemente</p>  <p>Werkstücke</p> <p>Arbeits- kammer</p>
	6.1.4 ... durch elektrische Gasent- ladung	Lichtbogen- press- schweißen	Fügen durch Ver- pressen von Werk- stücken, die durch einen kurzzeitig brennenden Licht- bogen erwärmt wurden	<p>Bolzenschweißen [ONr. 78]</p>  <p>Licht- bogen</p> <p>alternative Verfahrensvariante: Schweißen mit magnetisch bewegtem Lichtbogen [ONr.185]</p>
	6.1.5 ... durch Strahlung	Lichtstrahl- Extrusions- schweißen <i>Nur für Kunststoffe bekannt</i>	Kunststoff wird über einen durch Lichtstrahl beheizten Extruder zum Schweißkopf geführt, der die beheizte Masse zwischen die vorher erwärmten Stoß- flächen drückt	 <p>Schweiß- schuh</p> <p>Zuführung Schweiß- zusatz</p> <p>Schweiß- gerät</p> <p>Vorwärmung</p>
	6.1.6 ... durch Bewegung	Kaltpress- schweißen [ONr. 48]	Fügen, indem Werkstücke an der Fügestelle durch stetige Kraftein- wirkung ohne Wärme stark plastisch verformt werden	

Tafel 1.1 (Fortsetzung)

Untergruppe	Wirkprinzip	Beschreibung [Ordnungsnummer]		Beispiel
6.1 Press- schweißen	6.1.6 ... durch Bewegung	Schock- schweißen	Fügen von Werk- stücken durch schlagartige Krafteinwirkung	Sprengschweißen [ONr. 441] 
				Magnetpuls- schweißen [ONr. 442] 
		Ultraschall- schweißen [ONr. 41]	Fügen durch Kraft und schwingende Bewegung mit Frequenzen im Ultraschallbereich ($f \geq 20$ kHz)	
		Reib- schweißen [ONr. 42]	Fügen, indem die durch Reibung erwärmten Werkstücke miteinander verpresst werden	<i>mind. ein Werkstück wird bewegt:</i> Rotationsreibschweißen  <i>Werkstücke werden nicht bewegt:</i> Rührreibschweißen [ONr. 43] 

Sachwortverzeichnis

Symbole

4-Niveau-Laser 444

A

Abbrennstumpfschweißen 386
– Längenverlust 389
Ablängen 58
Ablenkfiguren 433
Absaugung 474
Abschmelzleistung 204
Absorption 443
Aceton 305
Acetylenentwickler 304
Acetylen-Luft-Gemisch 301
Acetylenzerfall 301
Additive Fertigung
– mittels Elektronenstrahl 440
– mittels Laser 468
– mittels MSG-Schweißen 217
– mittels PTA-Schweißen 181
Aluminothermisches
Schmelzschweißen 514
Arbeitsgase 460
Arbeitskammer 423
Arbeitspunkt 78
Armaturen 311
Aspektverhältnis 456
Aufheizgeschwindigkeit 521
Auftragschweißen 19, 255
Aufweitung 459
Ausbringung 94, 100, 118
Äußere Regelung, delta U-Regelung
78
Austenitbildner 35
Autogenbrenner 295

B

Balance 75, 139
Bandelektroden 97
– zum Elektroschlacke-
Auftragschweißen 415
– zum UP-Schweißen 244
Basizitätsgrad 103, 235
Beanspruchungszustand 37
Beschichten 19
Beschleunigungsspannung 421
Besetzungsinversion 444
Betriebsmittel 299
Beugungsmaßzahl 458
BG-Regeln 59
Blaswirkung 67
Bolzenschweißen 275
Bolzenschweißen mit Spitzenzündung
276
Bolzenschweißpistole 86
Brennerhaltungen 327
Brennweite 458
Buckelschweißen 376
– einseitig 385

C

Calciumcarbid 302
CO₂-Gaslaser 448
CO₂-Slab-Laser 449
Crossjet 454

D

Dampfkanal 429
Deflagration 314
Demontage 61
Detonation 314
Diffusionsschweißen 517
Dimethylformamid 305
Diodenlaser 450

Dissousgasflaschen 305
Divergenz 445
Divergenzwinkel 458
Doppelpulsen 212
Drahtpulsen 212
Draht-Pulver-Kombination 243
Drahttrichtwerk 91
Drahtvorschubsystem 87
Druckminderer 112, 311
Durchtrittstrommessung 432

E

Edelmetalle
– Ultraschallschweißen 495
Edelstähle 33
Eigenspannungen 56
Einschaltdauer 81
Einteilung der Fertigungsverfahren
nach DIN 8580 15
Elektroden zum Buckelschweißen
378
Elektroden zum Rollennahtschweißen
366
Elektrogasschweißen 218
Elektromagnetische Sensoren
283
Elektronengas 19
Elektronenstrahl 421
Elektronenstrahlbohren 440
Elektronenstrahlgenerator 421
Elektronenstrahlhärten 439
Elektronenstrahlschweißen 421
Elektronenstrahlschweißverbindungen
430
Elektronenstrahlumschmelzen 440
Elektroschlacke-Auftragschweißen
413
Elektroschlacke-Mehrlagenschweißen
413

Elektroschlackeschweißen 406
 – mit abschmelzender Drahtzuführung 412
 – mit Metallpulverzugabe 413
 Erdgas 308
 Erschmelzungsart 32
 Excimerlaser 451

F

Farbkennzeichnung 320
 Faserlaser 447
 FEM 43
 Fensterwirkung 353
 Ferritbildner 35
 Fertigungsprozess 15
 Fertigungsverfahren 15
 Festkörperlaser 443
 Filter 474
 Flachdrahtelektrode
 – zum MSG-Schweißen 206
 Flammdurchschlag 314
 Flamme 291
 Flammeneinstellungen 293
 Flammenstörungen 299
 Flüssiggas 306
 Fokusdurchmesser 458
 Fokusposition 433
 Fokussierzahl 459
 Folien-Stumpfnahtschweißen 375
 Folien-Überlappnahtschweißen 375
 Fördergas 175
 Formiergas 131, 151, 161, 187
 Freies Drahtelektrodenende 205, 221, 286
 Fügbarkeit 29
 Fuge 320
 Fügen durch Schweißen 17
 Fugenform 46
 Fügeprozess 17
 Fügestelle 17
 Fügevorgang 17
 Fülldrahtelektrode 244
 Fülldrahtelektroden 99, 197

G

Gas 310
 Gaslaser 443
 Gaslinse 150
 Gasrücktritt 314

Gasschläuche 312
 Gasschmelzschweißen 318
 Gasschweißen 318
 Gasverbrauch 320
 Gebrauchsstellenvorlage 315
 Gefährdungen beim Sprengschweißen 506
 Gefährdungsklassen 473
 Gefügeumwandlungen 34, 56
 Geprägte Buckel 380
 Gesteuerter Kurzlichtbogen 209
 Gleichdruckbrenner 297
 Grobkornzone 35
 Güte einer Schweißverbindung 56

H

Hauptgruppen der Fertigungsverfahren 316
 Heißdraht-Drahtvorschubeinheit 91
 Hilfsstromquelle 167
 Hochdruckbrenner 297
 Hochleistungs-Kurzlichtbogen 201
 Hochleistungs-Sprühlichtbogen 202
 Hochspannungsschweißanlagen 431
 Hochspannungszündung 68
 Hochvakuumerschweißanlagen 424
 Hubzündungs-Bolzenschweißen 276

I

I-Entwickler 304
 IG-IP-Modulation 79
 IG-UP-Modulation 79
 Impulslichtbogen 200
 Induktives Hochfrequenzschweißen 402
 – mit stabförmigem Induktor 404
 – mit umschließendem Induktor 403
 Induktives Stumpfschweißen 405
 Induktiv unterstütztes
 Laserstrahlschweißen 462
 Injektorbrenner 295
 Innere Regelung, delta I-Regelung 79
 Ionisation 64

K

Kaltdraht-Vorschubeinheiten 91
 Kammerschweißen 398
 Kathodischer Reinigungseffekt 141

Kaverne 228
 Kerbspannungskonzept 44
 Kohlenstoffäquivalent 33
 Kondensatorentladungs-
 Bolzenschweißen 276
 Kontaktzündung 67
 Kurzlichtbogen 200

L

LASER 443
 Laser-Abstandssensor 284
 Laserarbeitsplätze 473
 Laserbohren 467
 Lasereffekt 444
 Laserhärten 467
 Laserklassen 474
 Laser-MSG-Schweißen 212
 Laserscanner 285
 Laserschutzwand 474
 Laserstrahlschneiden 466
 Laserstrahlschweißen 441
 Laserumschmelzen 467
 L-Entwickler 304
 Lichtbogen 64
 Lichtbogenhandschweißen 113
 Lichtbogenkennlinie 69
 Lichtbogensensor 285
 Lichtleitfasern 453
 Lichtquant 443
 Lichtquellen 444
 Lichtschnittsensor 285
 Lichtstrahlschweißen 419

M

MAGC-Schweißen 193
 MAGM-Schweißen 193
 Magnetische Fokussierlinse 422
 Maschinenbrenner 297
 Massivbuckel 381
 Massivdrahtelektrode 97, 244
 M-Entwickler 304
 Metall-Aktivgasschweißen (MAG-Schweißen) 192
 Metaldampf 456
 Metall-Inertgasschweißen (MIG-Schweißen) 192
 Metall-Schutzgasschweißen 191
 MIG-AC-Schweißen 211
 MIG-Löten 210

Mikroplasmenschweißen 179
 Mitteldruckentwickler 304
 Monochromasie 445
 MSG-Absaugbrenner 198
 MSG-Auftragschweißen 216
 MSG-Dickdrahtschweißen 205
 MSG-Doppeldrahtschweißen 206
 MSG-Engspaltschweißen 215
 MSG-Flachdrahtschweißen 206
 MSG-Schweißbrenner 86
 MSG-Tandemschweißen 207

N

Nachlinksschweißen 325
 Nachrichtsschweißen 325
 Nachsetzeinheiten 383
 Nachweiskonzepte 43
 Natürliche Buckel 382
 Nd:YAG-Festkörperlaser 445, 447
 Nebenschluss 353, 383, 392, 397
 Nennspannungskonzept 43
 Niederdruckentwickler 304
 Nonvacuum-
 Elektronenstrahlschweißen 425

O

Offline-Programmierung 455
 Ökobilanzen 62
 Ordnungsnummer 21

P

Phasenanschnittsteuerung 74
 Photon 444
 Pilotlichtbogen 169
 Pilotlichtbogen-Zündung 68
 Pincheffekt 66
 Pinch-Effekt 203
 Planetarantrieb 89
 Plasma 456
 Plasma-Auftragschweißen 178
 Plasmabeeinflussung 456
 Plasmadiagnostik 462
 Plasmadüse 168
 Plasmagas 161
 Plasma-Heißdrahtschweißen 174
 Plasma-Impulsstromschweißen 172
 Plasma-Kaltdrahtschweißen 174
 Plasmalichtbogenschweißen 159

Plasma-MIG-Schweißen 213
 Plasma-Pulver-Auftragschweißen 179
 Plasma-Pulver-Schweißbrenner 85
 Plasma-Schweißbrenner 84
 Plasmaschweißen 157
 Plasma-Stichlochschiweißen 176
 Plasmastrahlschweißen 159
 Plasmawolke 456
 PLM 61
 Pressschweißen 17, 20
 Pressstumpfschweißen 393
 – Längenverlust 396
 Primär getaktete Stromquelle, Inverter 75
 Product Lifecycle Management 61
 Produktionstechnik 15
 Produktlebensphasen 60
 Programmierbare Steuerung 432
 Prozessanalyse 55
 Prozessgase 291
 Pulsbreitenmodulation 75
 Pulverförderer 175
 Pulver-Plasmalichtbogenschweißen 160
 Pulverstrecke 247
 Punktschweißelektroden 343
 Punktschweißzange 342
 Push-Pull-Antrieb 90

Q

Qualitätsstähle 33
 Quetschnahtschweißen 373

R

Räumliche Kohärenz 445
 Rautiefe 520
 Recyclingfähigkeit 61
 Reibschweißen
 – Bauteilverkürzung 484
 Remote-Bearbeitung 454
 Rollennahtschweißen 363
 – Dorn-Schlitten 365
 – Längsnahtschweißen 365
 – Quernahtschweißen 365
 Rollennahtschweißen mit
 Drahtzwischenelektrode 374
 Röntgenstrahlung 440
 Rotierender Lichtbogen 201
 Rückrocknung 103, 119, 241

S

Sauerstoffversorgung 301
 Saugbrenner 295
 Scanneroptik 459
 Schaeffler-Diagramm 35
 Schärfentiefe 459
 Scheibenlaser 447
 Schleppgasdüse 150, 185, 222
 Schmelzbadsicherung 261
 Schmelzschweißen 17, 20
 Schutzgas 192
 Schutzgasbrause 150, 185
 Schutzgase 108, 131, 161, 461
 Schutzgläser 454
 Schweißaggregat 71
 Schweißbarkeit 29
 Schweißbereichsdiagramm 357
 Schweißbolzen 106
 Schweißbeignung 29
 Schweißen 17
 Schweißen durch festen Körper 509
 Schweißen mit magnetisch bewegten
 Lichtbogen 271
 Schweißen mit Metallschmelzen 512
 Schweißerlaubnisschein 59
 Schweißfolgepläne 45
 Schweißgut 17
 Schweißmöglichkeit 29
 Schweißnahtwertigkeit 44
 Schweißpositionen 320
 Schweißpulver 103
 – zum ES-Schweißen 409
 – zum PTA-Schweißen 105
 – zum UP-Schweißen 105, 229
 Schweißsicherheit 29
 Schweißstäbe 96
 Schweißstromquellen 71
 Schweißtransformator 72
 Schweißzone 17
 Sekundär getaktete Stromquelle 75
 S-Entwickler 304
 SF-Entwickler 304
 Sicherheitswasservorlage 315
 Skin-Effekt 400
 Slab-Laser 450
 Slope Control 432
 Spaltüberbrückbarkeit 319
 Sprühlichtbogen 200
 Stabelektrode 92
 Stabelektroden 115

Stabelektrodenhalter 82
Stahlflaschen 305
Statische Kennlinien von
Schweißstromquellen 76
Steuerelektroden 422
Steuerspannung 422
Stirnrollenantrieb 88
Strahlführungssysteme 452
Strahlintensitäten 453, 455
Strahlparameterprodukt 458
Strahlpendeln 434
Strahlqualität 453
Strahlqualitätszahl 458
Strahlstrom 422
Strahltaillenradius 458
Strahlungseinkopplung 460
Streckenenergie 52
Strukturspannungskonzept 43
Stufengeschalteter Schweiß-
gleichrichter 73
Systeme 454
SZTU-Schaubilder 35

T

Taktile Sensoren 282
Tandemschweißen 252
Technische Regeln für Acetylenanlagen
und Calciumcarbidlager (TRAC)
311
Temperaturverteilung 292
Thermische Energie 17
Thermokompressionsschweißen
509
Thermopulsen 211

Thyristorstromquelle 74
Tiefschweißeffekt 176
Totalreflexion 453
Trockensicherungen 315
Tropfenablösung 203

U

Übergangslichtbogen 200
Ultraschallschweißen 495
Umhüllungstypen von Stabelektroden
93
Umlenkspiegel 452
Umweltmanagementsystem 62
Unfallverhütungsvorschriften 59
Unlösbare Verbindungen 19
Unregelmäßigkeiten 56
Unterpulverschweißen 227
UP-Bandelektrodenschweißen 253
UP-Doppeldrahtschweißen 249
UP-Eindrahtschweißen 249
UP-Engspaltschweißen 256
UP-Heißdrahtschweißen 254
UP-Kaltdrahtschweißen 254
UP-Mehrdrahtschweißen 252
UP-Quernahtschweißen 257
UP-Schweißbrenner 83
UP-Schweißen mit Metallpulverzugabe
254

V

Verbindungselement 16
Verbrennung 291
Verunreinigungen 32

W

Wärme 17
Wärmeeinflusszone (WEZ) 17
Warmpressschweißen 509
Wellenlänge 458
Werkstoffübergang 202
Werkstückdicken 320
Widerstandspunktschweißen
339
– Dreiblech-Schweißen 361
– einseitig 361
WIG-Auftragschweißen 146
WIG-Engspaltschweißen 145
WIG-Heißdrahtschweißen 142
WIG-Impulsstromschweißen 139
WIG-Kaltdrahtschweißen 142
WIG-Kilohertz-Pulsen 136
WIG-Mehrkathodenbrenner 147
WIG-Orbitalschweißen 143
WIG-Punktschweißen 145
WIG-Schweißbrenner 83
Wire Arc Additive Manufacturing
(WAAM) 217
Wirkpaarungen 20
Wirkungsgrad 52, 446
Wolframelektrode 83, 133, 164
Wolfram-Inertgasschweißen 129
Wurzelschutz 150, 186

Z

Zusatzwerkstoff 16